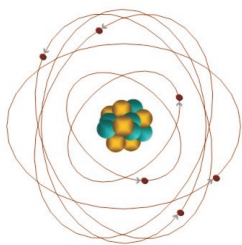


W jaki sposób można oglądać atomy? Atomy i światło

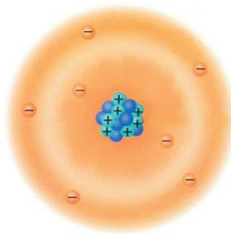
Czy można „zobaczyć” atomy? Czym różnią się atomy poszczególnych pierwiastków? W jaki sposób możemy je rozpoznawać, identyfikować? Co wiemy o ich budowie? To najczęściej zadawane pytanie na temat atomów. Niektórzy ludzie pytają, czy atomy są groźne i niebezpieczne.

Atom, po grecku ατομος (*atomos* – niepodzielny) to najmniejszy składnik materii, któremu można przypisać właściwości chemiczne. Naukowcy od dawna wiedzą, że atomy są z czegoś zbudowane. Wiemy, że każdy atom ma w środku stosunkowo małe jądro, które jest otoczone elektronami.

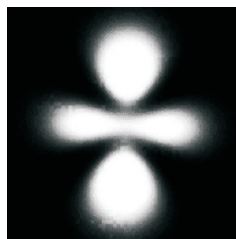
Po wpisaniu do wyszukiwarki internetowej Google słowa „atom” (i wybraniu „Grafika”), na ekranie ukazuje się mnóstwo rysunków. Są one w zasadzie trzech typów. Oto przykłady:



Rys. 1.



Rys. 2.



Rys. 3

Oczywiście nie są to obrazy atomów w takim sensie, w jakim istnieją obrazy krzesła, kuli metalowej, czy kostki do gry. Są to reprezentacje modeli atomu. Mają one zilustrować idee budowy atomów. Nie zachowują nawet proporcji przestrzennych atomów. Na rys. 1 autor chce pokazać, że atom składa się z jądra, które też jest zbudowane z elementów: protonów i neutronów. Wokół jądra krążą elektrony, których jest dokładnie tyle, ile w jądrze protonów. Jest ich 6, a zatem jest to model atomu węgla.

Na rys. 2 zamiast elektronów i ich orbit z poprzedniej ilustracji znajdują się zacienione koła. Pokazuje to, że nie wiemy, gdzie dokładnie znajdują się elektrony (w przypadku azotu – siedem); elektrony tak jakby rozmywały się w chmurkę. Im ciemniejsza chmurka, z tym większym prawdopodobieństwem znajdują się tam elektrony. Rysunek 3 to przedstawienie takiej chmurki ładunku wynikające z obliczeń teoretycznych mechaniki kwantowej. I wbrew pozorom, ta ilustracja jest najbliższa tego, co wiemy o atomach.

Artysta może mieć jeszcze inną wizję atomu. Obok na fotografii słynne Atomium, symbol Brukseli.

Cała trudność w „zobaczeniu” atomów i niemożność zrobienia im zwykłych zdjęć bierze się z faktu, że są one bardzo małe. Ich rozmiary są rzędu 10^{-10} m. Dzisiaj wiemy, a mówię nam o tym mechanika kwantowa, że w świecie tak małych odległości rządzą inne prawa fizyki niż te, do których jesteśmy przyzwyczajeni. W mikroświecie nie mają sensu zwykłe pytania, takie jak: „gdzie dokładnie coś się znajduje”, „jak wygląda”, „jaką ma gęstość”, „jak szybko się porusza”. Trzeba zatem zadawać inne pytania i zastosować inny opis. Atomy i cząsteczki możemy w pewien sposób „oglądać” dzięki temu, że w pewnych sytuacjach wysyłają światło.

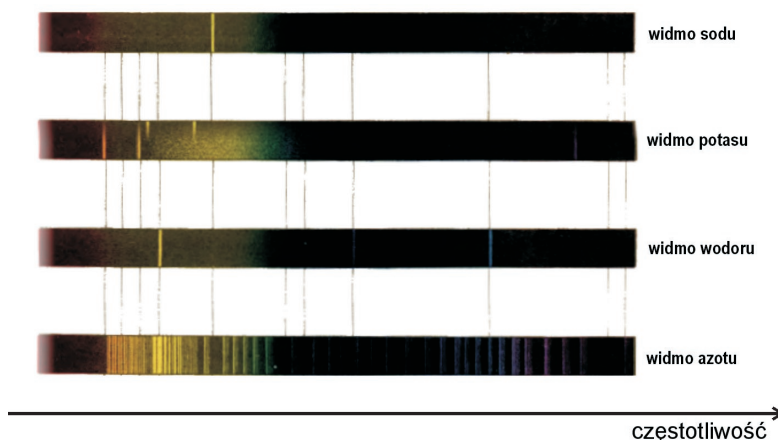


Okazuje się, że bardzo użytecznym do opisu sposobem jest wykorzystanie pojęcia energii, ponieważ możemy stosunkowo prosto mierzyć energię światła. Wyjaśnimy to dalej.

W makroświecie (czyli tym „naszym”) emitowane przez ciała (lub odbite od ciał) światło powoduje powstanie obrazu np. w oku, czy w kamerze CCD.

Chemicy już dawno nauczyli się za pomocą reakcji chemicznych analizować związki chemiczne, identyfikować, z jakich pierwiastków są one zbudowane. Potrzebują do tego celu makroskopowych ilości substancji. Ułożyli znane pierwiastki w tzw. tablicę Mendelejewa, porządkując je wedle ich własności fizycznych i chemicznych. Chemicy poodkrywali swoimi metodami nowe pierwiastki chemiczne, uprzednio nieznanne. Nasza rodaczka Maria Skłodowska-Curie odkryła dwa nowe pierwiastki rad i polon. Musiała w tym celu przerobić tony rudy uranowej. Dzisiejsze metody spektroskopii wykorzystują wręcz śladowe ilości pierwiastków do ich identyfikacji. Wykorzystuje się je nie tylko w badaniach naukowych, ale np. w kryminalistyce.

Co to jest spektroskopia? Spektroskopia zajmuje się badaniem światła wysyłanego przez rozmaite substancje. Okazuje się, że rozrzedzone pary pierwiastków, pobudzone do świecenia (np. poprzez wysoką temperaturę lub łuk elektryczny), wysyłają charakterystyczne dla siebie światło (widmo), jednoznacznie je identyfikujące, tak jak kod paskowy identyfikuje towar w sklepie, a linie papilarne identyfikują człowieka. Oczywiście fizycy sporządzili natychmiast coś w rodzaju atlasu widm pierwiastków. Widma otrzymuje się za pomocą spektroskopu. Światło od badanego obiektu wpada przez szczelinę do spektroskopu i tworzy obrazy jak na rys. 4, na którym przedstawiono widmo sodu, potasu, wodoru i azotu.



Rys. 4

Oś pozioma na ilustracji odpowiada częstotliwości badanego światła. W przypadku światła emitowanego przez atomy mówimy o fotonach, czyli porcjach światła. Każde miejsce w otrzymanym widmie ma energię E , jednoznacznie przypisaną do emitowanej częstotliwości ν , zachodzi bowiem związek

$$E = h\nu,$$

gdzie E – energia emitowanej porcji światła, ν – częstotliwość wysłanego światła, a h – tzw. stała Plancka, nazwana tak na cześć jednego z twórców mechaniki kwantowej, Maxa Plancka.

Z obserwacji widm, mających postać prążków wnioskujemy, że pojedyncze atomy nie wysyłają wszystkich możliwych częstotliwości, tylko ściśle określone dla danego pierwiastka. Jeśli atom wysyła ze światłem jakąś porcję energii, to znaczy, że po emisji jest w stanie o niższej energii. Obserwacje widm wskazują na to, że atom nie może mieć byle jakich energii, tylko ściśle mu przypisane. Wydaje się to dziwne, ale tak jest i mechanika kwantowa znalazła na to wytłumaczenie. To ten fakt powoduje różne własności chemiczne i fizyczne pierwiastków.

Tłumaczenie tego jest zbyt trudne do wyjaśnienia w paru słowach, więc aby ułatwić zaakceptowanie tego faktu posłużymy się modelem, pewną analogią.



Wyobraźmy sobie sytuację, w której dwoje ludzi chce sobie przesłać informację, jakiego przedmiotu mają w pewnym celu użyć. Nie mogą jednak ani telefonować, ani przesłać fotografii przedmiotu. Oboje dysponują takim samym zestawem przedmiotów. Niech będą to: kula, kostka sześcienna, prostopadłościan i czworościan foremny.

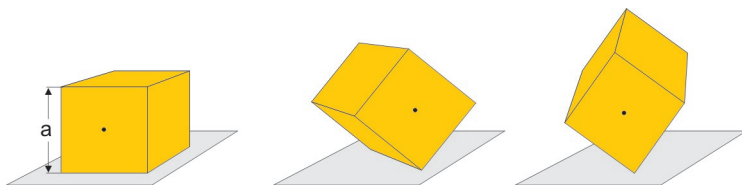


Rys. 5

Informacja, jaki przedmiot ma być użyty, może być przekazana w formie jakiegoś kodu paskowego. Tym kodem będzie przedstawienie poziomów energii potencjalnej tych przedmiotów w stanie równowagi. Ponieważ ludzie znajdują się w jednorodnym polu grawitacyjnym (na Ziemi, czy innej planecie) mogą posłużyć się opisem stanów równowagi swoich brył w polu grawitacyjnym (patrz artykuł o środku ciężkości). Otóż najpierw określają dla każdej bryły położenie środka ciężkości. Energia potencjalna bryły określona jest wzorem: $E = mgh$, gdzie E – energia potencjalna, g – stała grawitacji, m – masa ciała, h – wysokość środka ciężkości nad podpierającym podłożem. Rozważmy po kolei nasze bryły.

Jednorodna kula ma środek ciężkości w środku geometrycznym. W każdej pozycji jest w stanie równowagi, jej energia potencjalna wynosi mgr , gdzie r jest promieniem kuli.

Sześciąt, ponieważ może leżeć na 6 ścianach, ma 6 stabilnych stanów równowagi, wszystkie jednakowe. Energia w każdym z tych stanów wynosi $\frac{1}{2} amg$, gdzie a – bok sześciannu. Powiemy, że sześciąt ma jeden stabilny stan energii sześciokrotnie zdegenerowany.

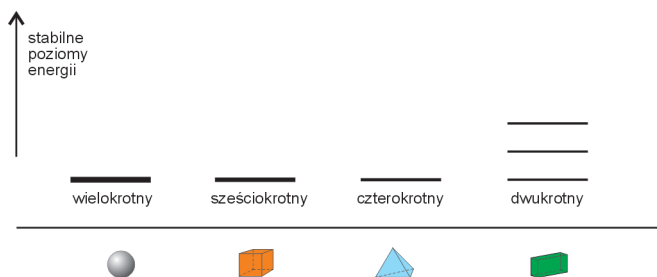


Rys. 6

Można wskazać mniej stabilne stany równowagi o energii wyższej, gdy sześciąt stoi na krawędziach (12 krawędzi), czy nawet na czubkach (8 czubków). Dzięki znajomości geometrii można obliczyć wysokość środka ciężkości w tych położeniach, można by je też zmierzyć dla danego sześciannu. Mówimy, że sześciąt ma dodatkowo niestabilne stany równowagi zdegenerowane 12-krotnie i 8-krotnie.

Widzimy, że opis sześciannu za pomocą stanów równowagi jest bogatszy niż opis kuli. Jeszcze inny będzie opis czworościanu i prostopadłościanu.

Te stany możemy przedstawić (ilustracja poniżej), odkładając na pionowej osi wartości energii trwałej równowagi ciał. Widzimy, że każda bryła ma inny zestaw poziomów, unikalny dla niej.



Rys. 7

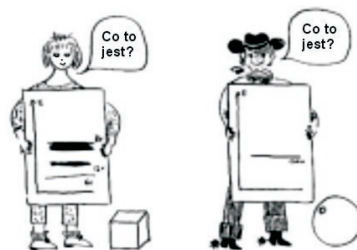
Przejścia z jednego stanu energii do innego wiążą się albo z pobraniem energii (trzeba wykonać pracę, by prostopadłościan ustawić inaczej), albo z oddaniem energii przy przechodzeniu ze stanu o wyższej energii do niższej (np. przy przewracaniu się). W przypadku naszych rozważanych brył, energia jest oddawana np. w postaci fali dźwiękowej (stuk). Możemy też zauważyć, że niektóre przejścia są wzbronione, nie zachodzą bezpośrednio, tylko poprzez inne stany.

I tak, aby klocek się przewrócił do najniższej pozycji musi najpierw znaleźć się w stanie niestabilnym o wyższej energii (tzn. stanąć na krawędzi). Okazuje się, że w świecie atomów też nie wszystkie przejścia są dozwolone.

Przy identyfikacji brył ważna informacja zawarta jest nie tylko w odległościach poziomów energii, lecz również w ich krotności. Dostarcza informacji o symetrii bryły. Tylko kula ma jeden poziom energii nieskończenie-krotny. Każde położenie jest stanem równowagi.

Tylko sześcian ma jeden poziom stabilny sześciokrotnie zdegenerowany oraz dwa poziomy niestabilne: jeden 8-krotnie, drugi 12-krotnie zdegenerowany. Nasz eksperymentator może przesłać koledze kod paskowy poziomów energetycznych wystarczający do identyfikacji bryły. Niestabilność poziomu energii zaznaczamy rozmyciem wartości energii, czyli na wykresie energii zamiast linii rysujemy pasemko tym grubsze im stan mniej stabilny.

Dziewczynka zaznaczyła na swoim kodzie paskowym również poziomy niestabilne.

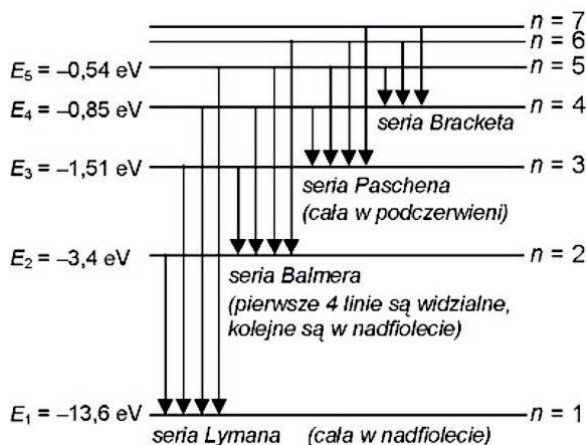


Okazuje się, że z atomami jest podobnie, konfiguracje poziomów energii identyfikują atomy, a ich degeneracja niesie informacje o symetriach atomów.

Ponieważ atomy znajdują się w charakterystycznych dla siebie stanach o ściśle określonej, czyli jak mówimy skwantowanej energii, mogą wysyłać światło też o ściśle określonej energii, będącej różnicą między energiami różnych poziomów. Te rozmaite kombinacje różnic poziomów można ułożyć w serie. I tak przejścia na najniższy poziom energii to jakaś seria, na drugi poziom to inna seria. Tak jak i dla naszych brył niektóre przejścia nie są możliwe bezpośrednio, zachodzą poprzez stany pośrednie. Aby atomy znalazły się

w stanach o wyższej energii trzeba im też dostarczyć odpowiednio dopasowanych porcji energii. Tę sztukę opanowano i stosuje się ją przy budowie laserów.

Poniżej przedstawiono rycinę z podręczników przedstawiającą poziomy energii i widmo emitowane przez pobudzone atomy wodoru. Kolejne poziomy energii są ponumerowane. Wszystkie możliwe przejścia pomiędzy poziomami, a więc i wysyłane fale elektromagnetyczne (fotony) uporządkowano w serie, które otrzymały nazwy od swoich odkrywców.



Rys. 8

Na koniec możecie zapytać, dlaczego rozgrzane ciała stałe wysyłają widmo ciągłe, takie jak na rysunku poniżej, a nie tylko wybrane długości, jak w widmach poszczególnych pierwiastków? Przecież to atomy konkretnych pierwiastków w tych ciałach emitują światło!



Dzieje się tak, ponieważ w ciele stałym atomy są znacznie bliżej siebie i przy wysokiej temperaturze obraz się rozmywa. Poziomy stają się rozmyte, nieokreślone. Klocki na trzęsącym się stole też nie mają określonych stanów równowagi. Położenia ich środków ciężkości są również rozmyte, nieokreślone.

Stusznie przeczuwamy, że temperatura ciała, która mówi o ruchliwości atomów, ma wpływ na emitowane widmo. Im wyższa temperatura, tym więcej jest emitowanych fal o większej częstotliwości (kolor niebieski, fioletowy). Dzięki temu spektrometru można używać jako termometru. Tak mierzymy temperaturę odległych gwiazd i surówki stali w hucie.

Z.G-M

